

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 43 15 745 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 01 B 21/30
G 01 B 5/00
G 01 B 7/00
G 11 B 7/00

②1 Aktenzeichen: P 43 15 745.9
②2 Anmeldetag: 11. 5. 93
④3 Offenlegungstag: 17. 11. 94

DE 43 15 745 A 1

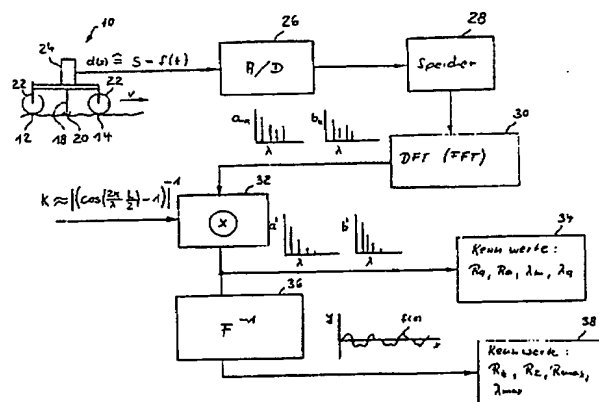
⑦1 Anmelder:
BA-BE-D GmbH, 85614 Kirchseeon, DE

⑦4 Vertreter:
Straßer, W., Dipl.-Phys.; Englaender, K., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 81667 München

⑦2 Erfinder:
Kastenmüller, Anton, 85567 Grafing, DE

⑤4 Verfahren zum Bestimmen der Oberflächengüte eines Prüflings

⑤7 Bei einem Verfahren zum Bestimmen der Oberflächengüte eines Prüflings wird dessen Oberfläche längs eines vorbestimmten Weges durch eine Abtasteinrichtung (10) abgetastet, die zwei voneinander um eine Strecke L entfernte Aufpunkte (12, 14) auf der Oberfläche festlegt. Ein Tastelement (18) bestimmt den senkrechten Abstand zwischen einem auf der Oberfläche liegenden Abtastpunkt (20) und der Mitte der Verbindungslinie zwischen den Aufpunkten (12, 14). Der Abstand wird in vorgegebenen Wegabständen in ein elektrisches Signal (S) gewandelt, das einer Fourier-Transformation unterzogen wird. Die dabei ermittelten Fourier-Koeffizienten (a_k , b_k , c_k) über der Orts-Wellenlänge λ werden mit entsprechenden Werten einer Korrekturfunktion (K) multipliziert. Zum Bestimmen der Oberflächengüte werden die korrigierten Fourier-Koeffizienten (a'_k , b'_k , c'_k) ausgewertet.



DE 43 15 745 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 09. 94 408 046/201

13/33

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen der Oberflächengüte eines Prüflings, bei dem die Oberfläche des Prüflings längs eines vorbestimmten Weges durch eine Abtasteinrichtung abgetastet wird, die zwei voneinander um eine Strecke L entfernte Aufpunkte auf der Oberfläche festlegt, bei dem ein Tastelement den annähernd senkrechten Abstand zwischen einem auf der Oberfläche liegenden Abtastpunkt und annähernd der Mitte der Verbindungslinie zwischen den Aufpunkten bestimmt, wobei der Abtastpunkt und die Aufpunkte in einer die Oberfläche annähernd senkrecht schneidenden Ebene liegen, und bei dem der Abstand in vorgegebenen Wegabständen in ein elektrisches Signal gewandelt wird, das zum Bestimmen der Oberflächengüte ausgewertet wird.

Dieses bekannte Verfahren wird zum Bestimmen von Gestaltabweichungen von einer geometrischen Idealform verwendet, wie zum Beispiel die Bestimmung von Welligkeit oder Rauheit. Zum Beurteilen der Oberflächengüte werden im allgemeinen Kenngrößen ermittelt, wobei Vertikalkenngrößen und Horizontalkenngrößen zu unterscheiden sind. Zu den Vertikalkenngrößen gehören zum Beispiel die gemittelte Rauhtiefe R_z und der Mittenrauhwert R_a . Als Horizontalkenngrößen werden häufig die mittlere Wellenlänge λ_m sowie der quadratische Mittelwert der Wellenlänge λ_q genannt. Anhand derartiger Kenngrößen kann schnell die Oberflächengüte beurteilt werden, ohne daß ein Meßschrieb der Oberfläche begutachtet werden muß.

Bei dem bekannten Verfahren ändert die Verbindungslinie zwischen den Aufpunkten längs des vorbestimmten Weges ihre Lage abhängig von der Welligkeit bzw. der Rauheit der Oberfläche. Dies bedeutet, daß der vom Kontaktelement bestimmte Abstand ebenfalls von der jeweiligen Lage der Verbindungslinie abhängt. Die beim bekannten Verfahren ermittelten Oberflächenkennwerte weichen daher von denen ab, die gegen eine ideale Bezugslinie gemessen werden. Mit anderen Worten ausgedrückt, werden bei dem bekannten Verfahren die Oberflächenkenngrößen verfälscht wiedergegeben. Um das Verfälschen von Meßergebnissen zu reduzieren, wird in der Praxis die Strecke L groß gewählt, da dann die Abweichungen der Verbindungslinie längs des abgetasteten Weges von einer idealen Bezugslinie verringert sind. Die Vergrößerung der Strecke L führt jedoch zu einer unhandlichen Meßanordnung, die in der industriellen Praxis nicht flexibel einsetzbar ist.

Ferner ist ein Bezugsflächentastsystem bekannt, bei dem das Tastelement längs einer Linie geführt wird, die dem geometrisch-idealen Profil der Oberfläche angepaßt ist. Nach dem Abtasten der Oberfläche längs der Linie wird die Meßanordnung um die Länge des abgetasteten Oberflächenprofils weiterbewegt und das Abtasten fortgesetzt. Dieses Messen der Oberfläche in Abschnitten ist für den praktischen industriellen Einsatz umständlich und aufwendig.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Bestimmen der Oberflächengüte eines Prüflings anzugeben, das Oberflächenkennwerte mit hoher Genauigkeit ermittelt und das einen kontinuierlichen Abtastbetrieb gestattet.

Diese Aufgabe wird für ein Verfahren eingangs genannter Art dadurch gelöst, daß das Signal einer Fourier-Transformation unterzogen wird, daß die dabei ermittelten Fourier-Koeffizienten über die Orts-Wellenlänge λ mit entsprechenden Werten einer Korrektur-

funktion K multipliziert werden, die mindestens abschnittsweise annähernd den Verlauf das Betrags von $M = (\cos(wL/2) - 1)^{-1}$ mit $w = 2\pi/\lambda$ hat, und daß zum Bestimmen der Oberflächengüte die korrigierten Fourier-Koeffizienten ausgewertet werden.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß die durch die Meßanordnung bedingten systematischen Fehler bei der Ermittlung von Oberflächenkenngrößen durch eine nachträgliche Korrektur der Meßergebnisse der Tasteinrichtung behoben werden können. Hierzu wird gemäß der Erfindung das von der Abtasteinrichtung ermittelte Signal einer Fourier-Transformation unterzogen. Die durch das Signal wiedergegebene Ortsfunktion der Oberfläche wird dabei in eine Funktion über die Kreis-Wellenzahl w transformiert, wobei jeder Orts-Wellenlänge λ ein Fourier-Koeffizient zugeordnet ist. Da das vom Tastelement abgeleitete Signal gegenüber einem wahren Signal, das die tatsächliche Oberfläche des Prüflings wiedergibt, verfälscht ist, sind auch zwangsläufig die Fourier-Koeffizienten verfälscht. Es hat sich nun in der Praxis gezeigt, daß diese Verfälschung auf der Basis der fouriertransformierten Funktion korrigiert werden kann, und daß die aus korrigierten Fourier-Koeffizienten ermittelten Oberflächenkenngrößen mit den wahren Oberflächenkenngrößen übereinstimmen oder zumindest diesen sehr nahe kommen. Auf der Grundlage von theoretischen und praktischen Erwägungen wurde als Korrekturfunktion K der Betrag einer Funktion M ermittelt, die kosinusförmigen Verlauf hat. Bei einer Korrektur der Fourier-Koeffizienten mit dieser Korrekturfunktion K sind die Abweichungen der aus korrigierten Koeffizienten ermittelten Oberflächenkenngrößen von den wahren Oberflächenkenngrößen minimal.

Die Erfindung zeichnet sich durch eine einfache Meßanordnung aus, deren Strecke L relativ kurz sein kann. Dadurch bleibt die Meßanordnung klein und handlich. Ferner kann das erfindungsgemäße Verfahren kontinuierlich angewendet werden, d. h. die Abtasteinrichtung kann anders als beim Bezugsflächentastsystem ohne Unterbrechung kontinuierlich über die Oberfläche des Prüflings über eine lange Meßstrecke bewegt werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Abtasteinrichtung ortsfest zu installieren und den Prüfling zu bewegen.

Die Erfindung ist nicht nur auf mechanische Abtasteinrichtungen beschränkt, sondern kann auch optisch-elektrische Abtasteinrichtungen umfassen. Beispielsweise können die die Verbindungslinie definierenden Aufpunkte durch Laserstrahlen erzeugt werden, wobei das Tastelement die Oberfläche optisch abtastet.

Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung hat die Korrekturfunktion K im Abschnitt $0 < \lambda < = L/2$ den Wert 1 und im Abschnitt $L/2 < \lambda$ die Betragswerte der Funktion M. Die Funktion M^{-1} , d. h. der Kehrwert der Funktion M, hat im erstgenannten Abschnitt an den Stellen $\lambda = L/2n$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ Nullstellen bzw. die Funktion M Unendlichkeitsstellen. Die zugehörigen Fourier-Koeffizienten sind an diesen Stellen nicht definiert und können beliebige Werte annehmen. Durch die vorgenannten Maßnahmen unterbleibt die Korrektur für Werte der Wellenlänge $\lambda < L/2$.

Ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfunktion K für Abschnitte in der Näh von $\lambda = L/2n$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ den Wert 1 und außerhalb der vorgenannten Abschnitte die Betragswerte der Funktion M hat. Durch diese Maßnahmen umgeht man die oben genannten Schwierigkei-

ten an den Nullstellen der Funktion von M^{-1} bzw. den Unendlichkeitsstellen der Funktion M .

Eine bevorzugte Weiterbildung ist dadurch gekennzeichnet, daß aus den korrigierten Fourier-Koeffizienten über der Wellenzahl w durch Fourier-Rücktransformation der Verlauf einer Funktion $y = f(x)$ ermittelt wird. Diese Funktion y gibt das tatsächliche Profil der Oberfläche bezüglich einer Bezugslinie wieder, die der idealen geometrischen Gestalt des Prüflings folgt. Anhand dieser Funktion y können nun weitere Oberflächenkenngrößen, beispielsweise Vertikalkenngrößen und Horizontalkenngrößen, ermittelt werden, deren Abweichungen von den wahren Kenngrößen dann minimal sind.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnungen erläutert.

Darin zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der bei dem Verfahren nach der Erfindung verwendeten Meßanordnung,

Fig. 2 den Verfahrensablauf zum Ermitteln von Oberflächenkennwerten bzw. des Oberflächenprofils anhand eines Blockschaltbilds,

Fig. 3 eine Darstellung der Funktion M^{-1} ,

Fig. 4 eine Erläuterung der Verfahrensschritte des Auftretens von Nullstellen in der Funktion nach Fig. 3,

Fig. 5a, 5b zwei Ausführungsbeispiele, bei denen die Funktion M^{-1} nur abschnittsweise ausgewertet wird,

Fig. 6a—6c eine Erläuterung der Verfahrensschritte anhand eines simulierten Oberflächenprofils, und

Fig. 7 eine Abtasteinrichtung zum Ermitteln der Längswelligkeit von Eisenbahnschienen.

In Fig. 1 ist in einer schematischen Darstellung das tatsächliche Oberflächenprofil y als Funktion des Weges x mit starker Überhöhung in y -Richtung in einem kartesischen Koordinatensystem dargestellt. Eine beim Verfahren verwendete Abtasteinrichtung 10, die im einzelnen weiter unten erläutert wird, definiert zwei Aufpunkte 12 und 14 im Abstand einer Strecke L . Annähernd in der Mitte einer Verbindungslinie 16 zwischen den Aufpunkten 12, 14 ist ein Tastelement 18 angeordnet, welches den annähernd senkrechten Abstand d zwischen einem auf dem Oberflächenprofil y liegenden Abtastpunkt 20 und der Verbindungslinie 16 bestimmt.

Bei einer Bewegung der Abtasteinrichtung 10 längs des Weges y ermittelt das Tastelement 18 Abstände d als Funktion des Weges y , d. h. die Funktion $d(x)$. Für kleine Neigungswinkel der Verbindungslinie 16 gilt angenähert Gleichung (1) gemäß Fig. 1. Anhand dieser Gleichung ist zu erkennen, daß die Abtasteinrichtung 10 nicht die wahre Funktion des Oberflächenprofils $y = f(x)$ ermittelt, sondern eine von dieser abweichenden Funktion. Würde die Funktion $d(x)$ als Grundlage für die Ermittlung von Oberflächenkenngrößen verwendet werden, so würden diese erheblich, teilweise bis zum Faktor 2, von den wahren Oberflächenkenngrößen des Profils y abweichen. Gemäß der Erfindung wird nun die Funktion $d(x)$ in einem Auswerteverfahren so aufbereitet, daß die von der Meßanordnung hervorgerufenen Verfälschungen korrigiert werden.

In Fig. 2 sind in einer Blockdarstellung die Ablaufschritte dargestellt, die beim Verfahren nach der Erfindung zum Bestimmen der Oberflächengüte des Prüflings angewendet werden. Die Abtasteinrichtung 10 hat als Stützelemente Rollen 22, deren Berührungspunkte mit der Oberfläche die Aufpunkte 12, 14 bilden. Die Auslenkung des Tastelements 18, dessen Tastsch

nen an die Oberflächenstrukturen der zu vermessenden Oberfläche angepaßten Tastradius hat, werden durch einen induktiven linearen Wegaufnehmer 24 in ein elektrisches Signal S gewandelt. Die Tasteinrichtung 10 wird mit konstanter Geschwindigkeit v über die Oberfläche bewegt. Das Signal S wird von einem Analog-Digital-Wandler 26 in vorbestimmten gleichen Zeitabständen in Digitalwerte gewandelt. Diese Digitalwerte werden in einem Speicher 28 abgespeichert. Bei einer Variante wird der von der Tasteinrichtung 10 zurückgelegte Weg durch einen Wegaufnehmer gemessen, der in vorgegebenen gleichen Wegabständen eine Analog-Digital-Wandlung durch den Wandler 26 veranlaßt.

Die abgespeicherten Digitalwerte werden in einem Fourier-Analysator 30 einer diskreten Fourier-Transformation (DFT) unterzogen, wobei der bekannte FFT-Algorithmus (Fast-Fourier-Transformations-Algorithmus) angewendet wird. Als Ergebnis dieser Fourier-Transformation erhält man reale Fourier-Koeffizienten a_k und imaginäre Fourier-Koeffizienten b_k über die Wellenlänge λ bzw. die Wellenzahl w . Weiterhin ermittelt der Fourieranalysator 30 Leistungsdichte-Koeffizienten c_k , aus denen unmittelbar statistische Kennwerte berechnet werden können.

Bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung werden die Fourier-Koeffizienten a_k, b_k korrigiert, da die Korrektur der Koeffizienten c_k und der dazugehörigen Phasenwinkel umständlicher wäre. Die Fourier-Koeffizienten a_k, b_k werden einem Multiplikator 32 zugeführt, dem zur Korrektur dieser Koeffizienten Werte der Korrekturfunktion K eingegeben werden. Die hinsichtlich der Wellenlänge λ einander entsprechenden Werte werden im Multiplikator 32 multipliziert, wodurch man korrigierte Fourier-Koeffizienten a'_k, b'_k über die Wellenlänge λ erhält. Aus diesen Fourier-Koeffizienten a'_k und b'_k können in einem Rechenmodul 34 die bekannten Oberflächenkenngrößen quadratischer Mittenrauhwert R_q , Arithmetischer Mittenrauhwert R_a , mittlere Wellenlänge λ_m und quadratischer Mittenwert der Wellenlänge λ_q berechnet werden. Diese Oberflächenkennwerte stimmen weitgehend mit denen überein, die am wahren Oberflächenprofil y ermittelt werden.

Als weitere Funktionseinheit ist ein Fourier-Rücktransformationsmodul 36 vorgesehen, welches aus den korrigierten Fourier-Koeffizienten a'_k, b'_k die Funktion $y = f(x)$ ermittelt. Anhand dieser Funktion y können weitere singuläre Oberflächenkenngrößen in einem Auswertemodul 38 berechnet werden, wie zum Beispiel die Rauhtiefe R_t , die gemittelte Rauhtiefe R_z , die maximale Rauhtiefe R_{max} , die maximale Wellenlänge λ_{max} etc. Die Funktionseinheiten 26 bis 38 können in einer rechnergestützten Meßwertverarbeitungseinheit zusammengefaßt werden. Die einzelnen Funktionen können durch Softwaremodule realisiert sein.

Fig. 3 zeigt den Verlauf der Funktion M^{-1} . Der Kosinus-Ausdruck hat Nullstellen bei $L/2n$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$. Dies bedeutet, daß die Funktion M^{-1} im Abschnitt $0 < \lambda < L/2$ zwischen den Werten 0 und -2 oszilliert, wobei die Abstände zwischen den Nullstellen in Richtung Null kleiner werden. Da bei der Korrektur der Kehrwert der Funktion M^{-1} verwendet wird, entstehen an den Nullstellen der Kosinusfunktion Unendlichkeitsstellen in der Funktion K .

Die praktische Bedeutung dieser Nullstellen bzw. Unendlichkeitsstellen wird im folgenden anhand der Fig. 4 erläutert. In dieser Fig. 4 ist ein sinusförmiges Oberflächenprofil y dargestellt, dessen Wellenlänge λ der Strecke $L/2$ der Abtasteinrichtung 10 entspricht. Wenn die

Abtasteinrichtung 10 mit der Geschwindigkeit v über das Oberflächenprofil y bewegt wird, so bleiben die Aufpunkte 12, 14 und der Abtastpunkt 20 in einer Ebene, d. h. der Abstand d ändert sich nicht, obwohl sich das Oberflächenprofil y über den Weg x ändert. Bei einer solchen Meßgeometrie kann der wahre Wert von y nicht ermittelt werden. Dies äußert sich in der Korrekturfunktion K durch eine Unendlichkeitsstelle an der betreffenden Wellenlänge λ . In der Umgebung außerhalb dieser Unendlichkeitsstellen arbeitet das Verfahren nach der Erfindung wieder einwandfrei, wobei abhängig von der verwendeten Meßanordnung mit Genauigkeits-einbußen zu rechnen ist.

In den Fig. 5a und 5b sind praktische Ausführungsbeispiele angegeben, mit denen das Problem der Unbestimmtheit der Korrekturfunktion K an Unendlichkeitsstellen überwunden werden kann. In Fig. 5a hat die Korrekturfunktion K^{-1} im Abschnitt $0 < \lambda < L/2$ den Wert 1 und im Abschnitt $L/2 < \lambda$ die Werte der Funktion M . Dies bedeutet, daß eine Korrektur der Fourier-Koeffizienten a_k, b_k nur im Bereich $L/2 < \lambda$ stattfindet. Für Wellenlängen $\lambda > L/2$ können also Oberflächenkenngrößen bzw. das Oberflächenprofil ermittelt werden, die mit den wahren Oberflächenkenngrößen übereinstimmen bzw. das mit dem wahren Oberflächenprofil übereinstimmt. Durch Anpassung der Strecke L an die zu messende Oberflächenstruktur kann somit bei dieser Variante eine hohe Meßgenauigkeit in einem gewählten Wellenlängenbereich von λ erreicht werden.

Beim Ausführungsbeispiel nach der Fig. 5b werden die Werte der Funktion M^{-1} nahe 0, d. h. nahe der gestrichelten Linie N nicht ausgewertet bzw. auf den Wert 1 gesetzt. Dies hat die Wirkung, daß die Korrekturfunktion K für Abschnitte, z. B. Abschnitte a, b in der Nähe von $\lambda < L/2n$ mit der natürlichen Zahl $n = 1, 2, 3, \dots$ den Wert 1 und außerhalb der vorgenannten Abschnitte die Werte der Funktion M hat. Bei dieser Variante, die einen höheren Rechenaufwand bei der Korrektur erfordert, werden auch Oberflächenkenngrößen für Wellenlängen $\lambda < L/2$ weitgehend richtig wiedergegeben, so daß die Genauigkeit des angewendeten Verfahrens über den gesamten Bereich der Wellenlängen λ genau ist.

In den Fig. 6a bis 6c werden die Verfahrensschritte nach der Erfindung mittels Kennfunktionen und Gleichungen anhand eines simulierten Oberflächenprofils y erläutert. In Fig. 6a ist im oberen Bildteil ein Oberflächenprofil y über eine Meßstrecke von $1 < 1000$ mm dargestellt. Das simulierte Oberflächenprofil y setzt sich aus einer Überlagerung dreier Sinusschwingungen mit den Amplituden A_1, A_2, A_3 und den Wellenlängen $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ gemäß Gleichung (2) zusammen. Beim simulierten Abtasten dieses Oberflächenprofils y mit einer Abtasteinrichtung 10, deren Aufpunkte um eine Strecke $L = 50$ mm voneinander entfernt sind, ergibt sich ein Verlauf des gemessenen Abstandes $d(x)$ über den Weg x wie er im unteren Bildteil der Fig. 6a angegeben ist. Man erkennt, daß das von der Abtasteinrichtung 10 abgetastete Oberflächenprofil y stark verfälscht als Funktion $d(x)$ wiedergegeben wird.

Die Funktion $d(x)$ kann als eine unendliche Fourier-Reihe gemäß Gleichung (3) dargestellt werden, worin a_k und b_k die jeweiligen Amplituden bzw. Fourier-Koeffizient n der zugehörigen Kosinus- und Sinusfunktionen sind. Diese Fourier-Koeffizienten a_k, b_k können über die Meßstrecke 1 gemäß den Gleichungen (4) und (5) ermittelt werden. Die in der Praxis verwendeten Werte für k sind unterhalb der Gleichung (5) angegeben, wobei ge-

maß dem Abtasttheorem nach Shannon k_{\max} auf die Hälfte der Anzahl der Abtastwerte m beschränkt ist. Im unteren Bildteil ist das Leistungsdichtespektrum für Koeffizienten c_k dargestellt, die sich als quadratischer Mittelwert aus den jeweiligen Fourier-Koeffizienten a_k und b_k ergeben. Bekanntlich können aus diesem Leistungsdichtespektrum statistische Kenngrößen ermittelt werden, die Oberflächenkenngrößen entsprechen. Diese sind jedoch wegen des erheblichen Fehlers in der Funktion $d(x)$ sehr ungenau.

Daher werden gemäß den Gleichungen (6) und (7) die Fourier-Koeffizienten a_k, b_k korrigiert. Aus den korrigierten Fourier-Koeffizienten a'_k und b'_k kann nun das korrigierte Leistungsdichtespektrum ermittelt werden, aus dem dann Oberflächenkenngrößen berechnet werden, die mit den entsprechenden wahren Kenngrößen weitgehend übereinstimmen.

Um weitere Kenngrößen anhand einer Oberflächenprofilardarstellung über den Weg x ermitteln zu können, wird eine Fourier-Rücktransformation gemäß Gleichung (8) durchgeführt. Das Ergebnis dieser Rücktransformation ist im unteren Bildteil der Fig. 6c dargestellt. Anhand dieser Profilardarstellung kann die Oberflächengüte eines Prüflings beurteilt oder weitere singuläre Kenngrößen, wie beispielsweise die Rauhtiefe R_t , ermittelt werden.

In Fig. 7 ist ein Ausführungsbeispiel der Abtasteinrichtung 10 zum Ermitteln der Längswelligkeit von Eisenbahnschienen dargestellt. Zwei starr miteinander verbundene Stützelemente 40, 42 haben an ihren der Oberfläche zugewandten Enden Wendeplatten 44, 46 aus Keramik. Diese Wendeplatten 44, 46 dienen als Kufen bei der Bewegung der Abtasteinrichtung 10 längs der Eisenbahnschiene und haben aufgrund der Härte des Werkstoffs nur einen geringen Abrieb. Am Gehäuse der Abtasteinrichtung 10 ist ein um eine Drehachse 48 schwenkbarer Hebel 50 befestigt, dessen Kopfende 52 zwischen den Stützelementen 40, 42 bewegbar angeordnet ist. Das Kopfende 52 trägt eine Wendeplatte 54 aus Keramik. Die Auslenkbewegungen des Hebels 50 werden von einem induktiven linearen Wegaufnehmer 56 erfaßt und in das Signal S umgewandelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen der Oberflächengüte eines Prüflings, bei dem die Oberfläche des Prüflings längs eines vorbestimmten Weges durch eine Abtasteinrichtung abgetastet wird, die zwei voneinander um eine Strecke L entfernte Aufpunkte auf der Oberfläche festlegt, bei dem ein Tastelement den annähernd senkrechten Abstand zwischen einem auf der Oberfläche liegenden Abtastpunkt und annähernd der Mitte der Verbindungslinie zwischen den Aufpunkten bestimmt, wobei der Abtastpunkt und die Aufpunkte in einer die Oberfläche annähernd senkrecht schneidenden Ebene liegen, und bei dem der Abstand in vorgegebenen Wegabständen in ein elektrisches Signal gewandelt wird, das zum Bestimmen der Oberflächengüte ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal (S) einer Fourier-Transformation unterzogen wird, daß die dabei ermittelten Fourier-Koeffizienten (a_k, b_k, c_k) über d r Orts-Wellenlänge λ mit entsprechenden Werten einer Korrekturfunktion K multipliziert werden, die mindestens abschnittsweise annähernd den Verlauf des Betrags von $M = (\cos(wL/2) - 1)^{-1}$ mit $w = 2\pi/\lambda$ hat, und daß zum

Bestimmen der Oberflächengüte die korrigierten Fourier-Koeffizienten (a_k' , b_k' , c_k') ausgewertet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Fourier-Koeffizienten die realen Fourier-Koeffizienten (a_k) und die imaginären Fourier-Koeffizienten (b_k) ermittelt werden, die mit entsprechenden Werten der Korrekturfunktion K multipliziert werden, wobei $k = 0, 1, 2, \dots$ ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zum Bestimmen der Oberflächengüte Oberflächenkennwerte aus den korrigierten realen und imaginären Fourier-Koeffizienten (a_k , b_k) gebildet werden, wobei vorzugsweise der quadratische Mittelwert (R_q) und der arithmetische Mittelwert (R_a) gebildet werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfunktion K im Abschnitt $0 < \lambda < = L/2$ den Wert 1 und im Abschnitt $L/2 < \lambda$ die Betragswerte der Funktion M hat.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfunktion K für Abschnitte in der Nähe von $\lambda = L/2n$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ den Wert 1 und außerhalb der vorgenannten Abschnitte die Betragswerte der Funktion M hat.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus den korrigierten Fourier-Koeffizienten (a_k' , b_k' , c_k') durch Fourier-Rücktransformation der Verlauf einer Funktion $y = f(x)$ ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß anhand der Funktion $y = f(x)$ Vertikalkenngrößen (R_v , R_z) und Horizontalkenngrößen (λ_m , λ_q) ermittelt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtasteinrichtung (10) mit konstanter Geschwindigkeit (v) über die Oberfläche bewegt wird, und daß das Signal (S) in vorbestimmten Zeitabständen in Digitalwerte gewandelt und abgespeichert wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Fourier-Transformation die diskrete Fourier-Transformation (DFT) auf die abgespeicherten Digitalwerte angewandt wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Fourier-Transformation der digitale Fast-Fourier-Transformations-Algorithmus (FFT) verwendet wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtasteinrichtung (10) zwei in einem gegenseitigen Abstand starr miteinander verbundene Stützelemente (40, 42) hat, daß das Tastelement von einem Hebel (50) getragen wird, der an einem Ende schwenkbar gelagert ist, und dessen anderes Ende zwischen den Stützelementen (40, 42) bewegbar angeordnet ist, und daß die Auslenkungen des Hebels (50) von einem Sensor (56) in das Signal (S) gewandelt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützelemente als Kufen oder Rollen ausgebildet sind, deren Berührungspunkte mit der Oberfläche die Aufpunkte bilden.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Tastelement eine Tastspitze mit vorgegebenem Tastradius

hat.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensor ein induktiver Drehwinkelgeber oder ein induktiver linearer Wegaufnehmer (56) verwendet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützelemente (40, 42) auf ihren der Oberfläche zugewandten Enden Wendeplatten (44, 46) aus Keramik tragen.

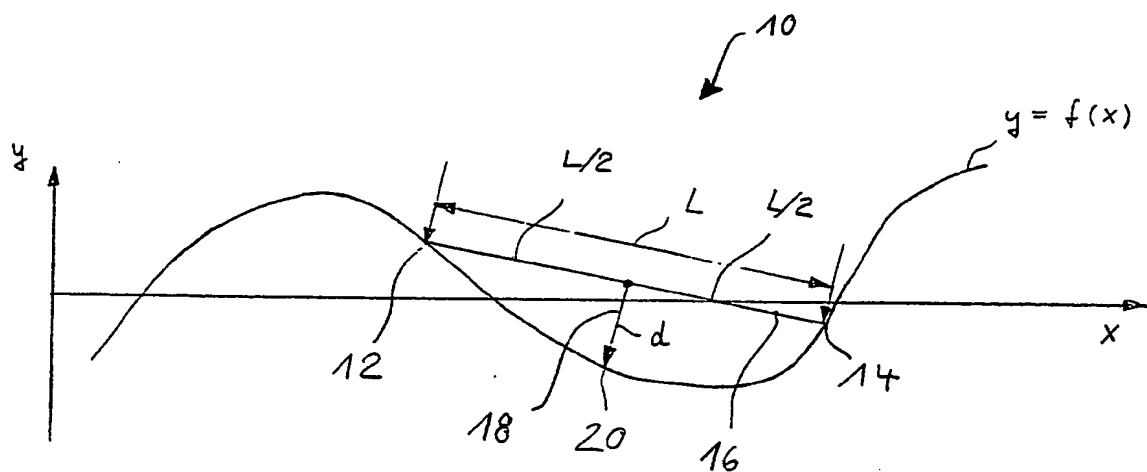
16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Tastspitze des Tastelements eine Wendeplatte (54) aus Keramik verwendet wird.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Ermitteln der Längswelligkeit von Eisenbahnschienen verwendet wird.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

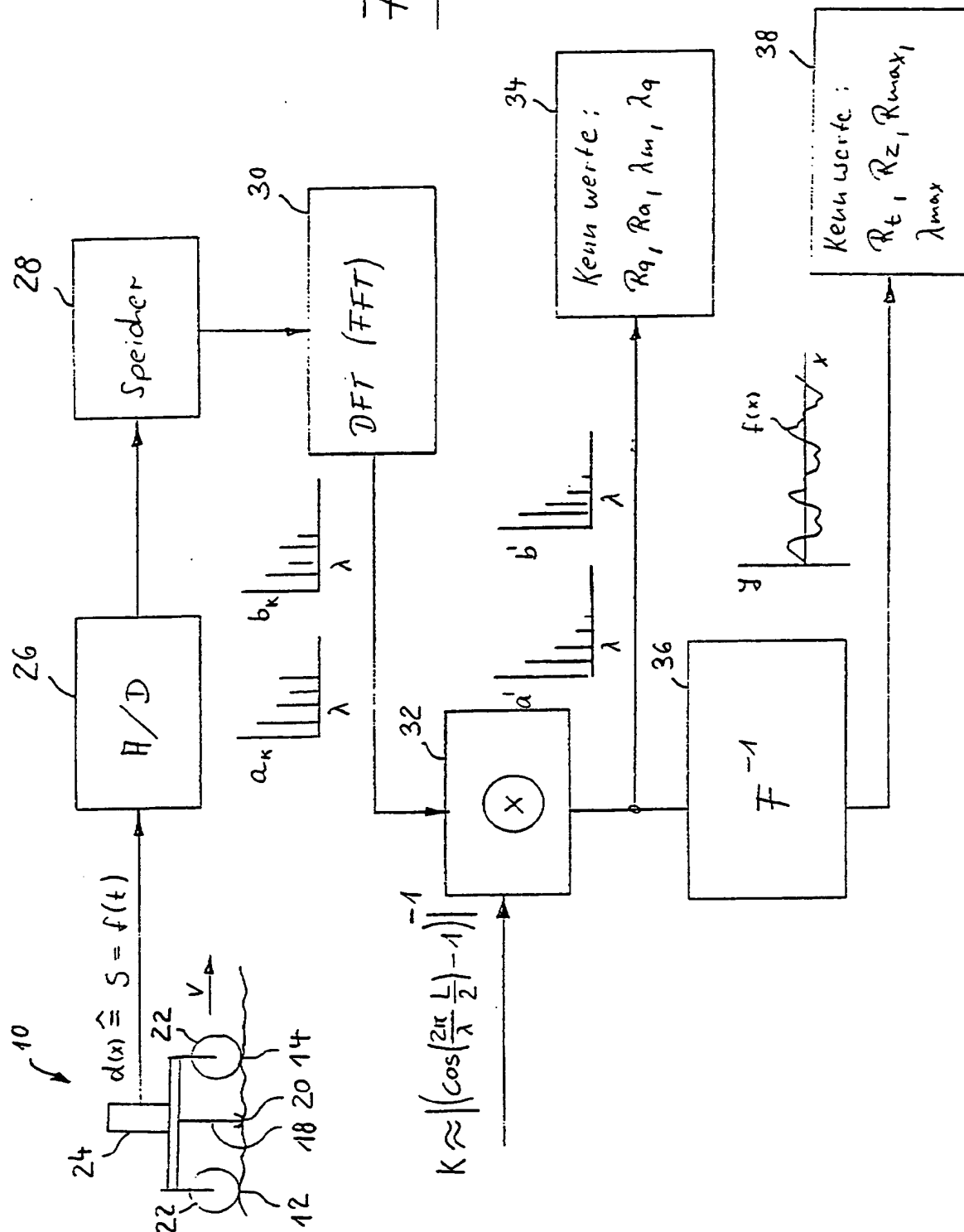
X



$$d(x) = \frac{f\left(x + \frac{L}{2}\right) + f\left(x - \frac{L}{2}\right)}{2} - f(x) \quad (1)$$

Fig. 1

Fig. 2



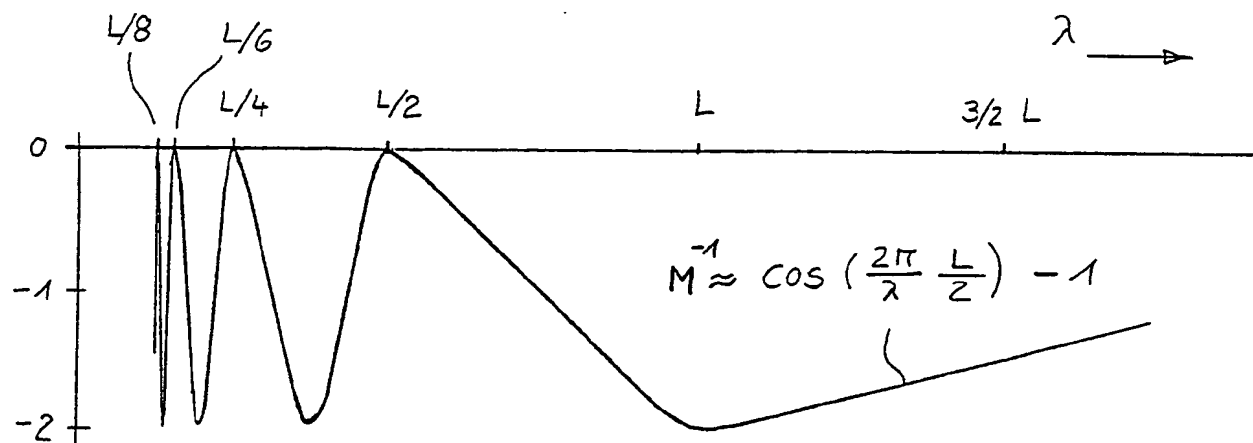


Fig. 3

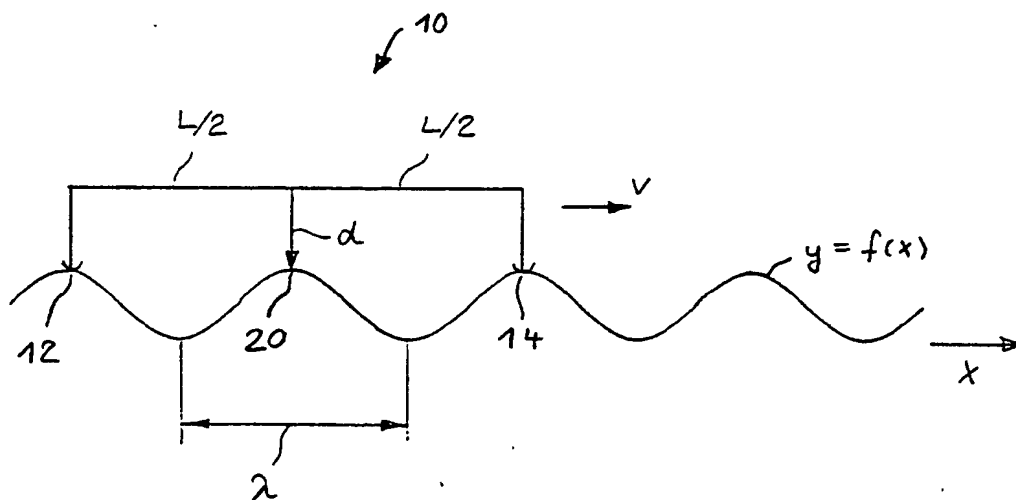


Fig. 4

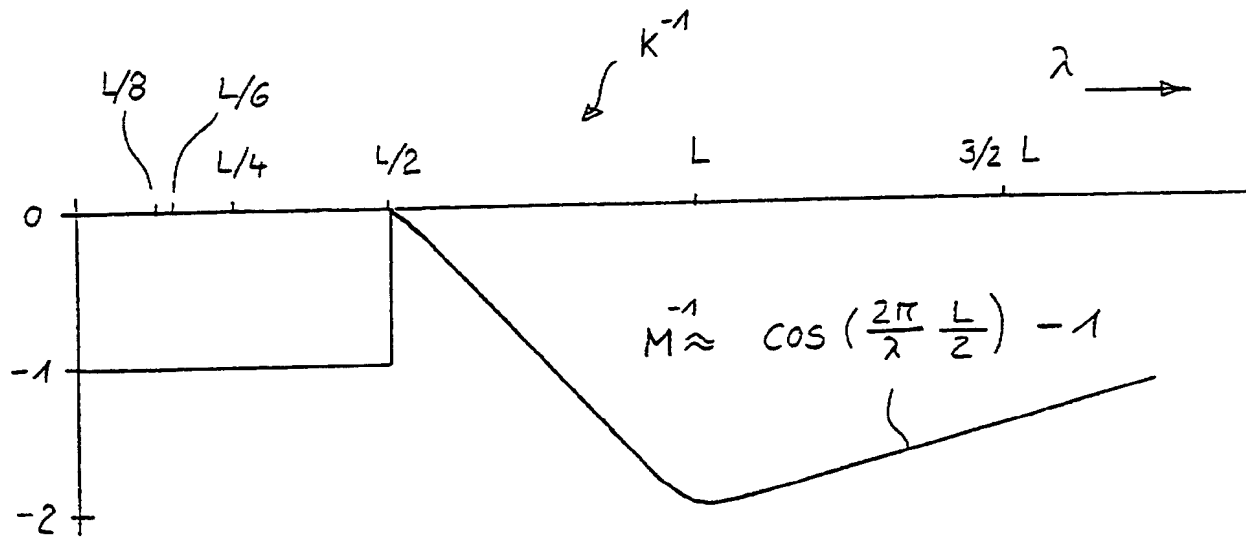


Fig. 5a

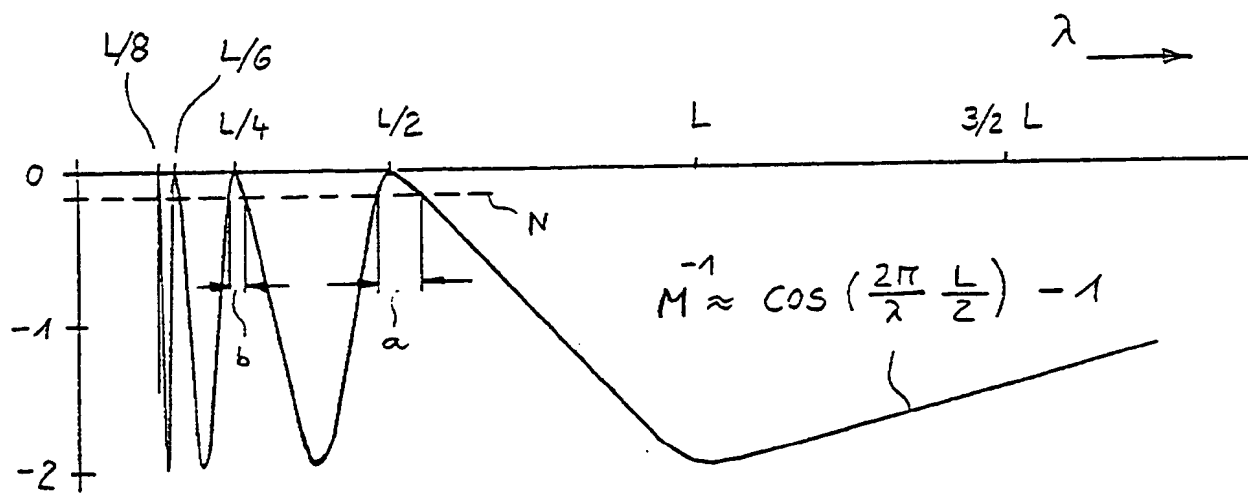
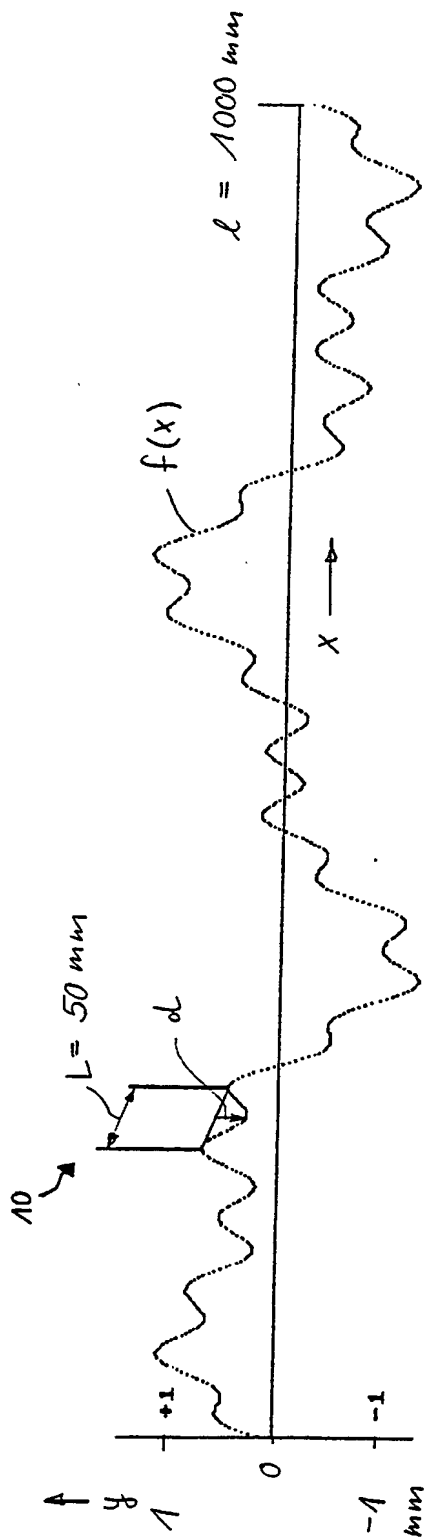


Fig. 5b



$$f(x) = \sum_{i=1}^3 A_i \sin \frac{2\pi}{\lambda_i} x \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,8 \text{ mm} & \lambda_1 &= 500 \text{ mm} \\ A_2 &= 0,4 \text{ mm} & \lambda_2 &= 200 \text{ mm} \\ A_3 &= 0,2 \text{ mm} & \lambda_3 &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

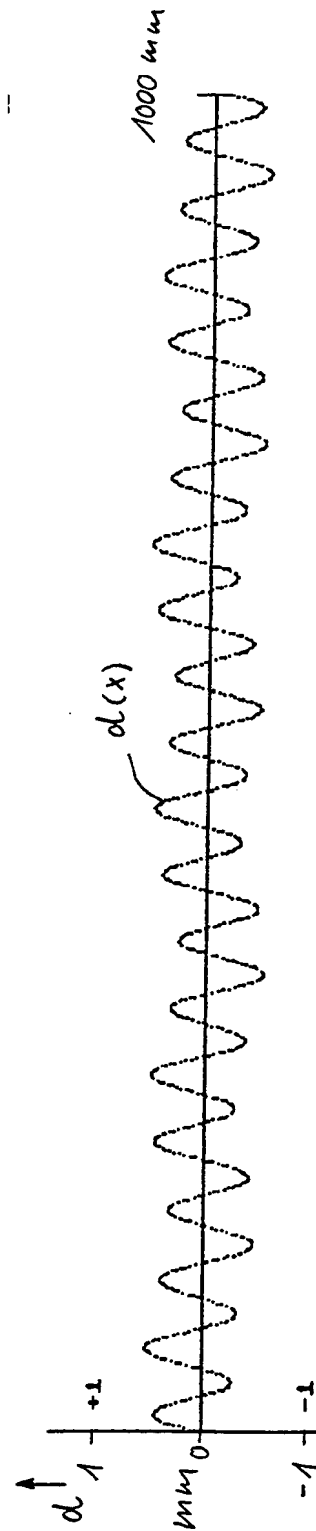


Fig. 6a

$$d(x) \approx \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2\pi}{l} kx + b_k \sin \frac{2\pi}{l} kx \right) \quad (3)$$

$$a_k = \frac{2}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} d(x) \cos \frac{2\pi}{l} kx dx; \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$b_k = \frac{2}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} d(x) \sin \frac{2\pi}{l} kx dx; \quad k=1, 2, \dots \quad (5)$$

Die möglichen Werte von k sind:

$$\begin{array}{lll} k=0 & \lambda = \infty & \text{(Gleichanteil)} \\ k=1 & \lambda = 1000\text{mm} & \\ k=2 & \lambda = 500\text{mm} & \\ \vdots & \vdots & \\ k=k & \lambda = l/k & \\ \vdots & & \\ k_{\max} = n/2 & & \text{(Abtastgrenze)} \end{array}$$

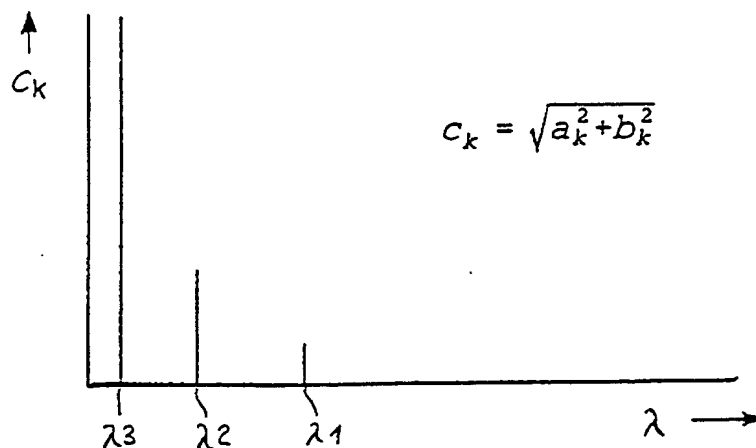
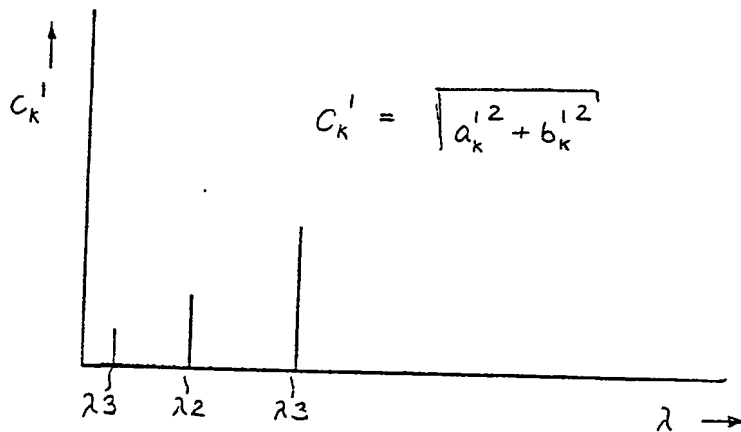


Fig. 6b

$$a_k' = \frac{a_k}{\left| \cos k \frac{L}{2} - 1 \right|}; \quad k=0 \dots k_{\max} \quad (6)$$

$$b_k' = \frac{b_k}{\left| \cos k \frac{L}{2} - 1 \right|}; \quad k=1 \dots k_{\max} \quad (7)$$



$$f(x) \approx \frac{a_0'}{2} + \sum_{k=1}^{k_{\max}} \left(a_k' \cos \frac{2\pi}{L} kx + b_k' \sin \frac{2\pi}{L} kx \right) \quad (8)$$

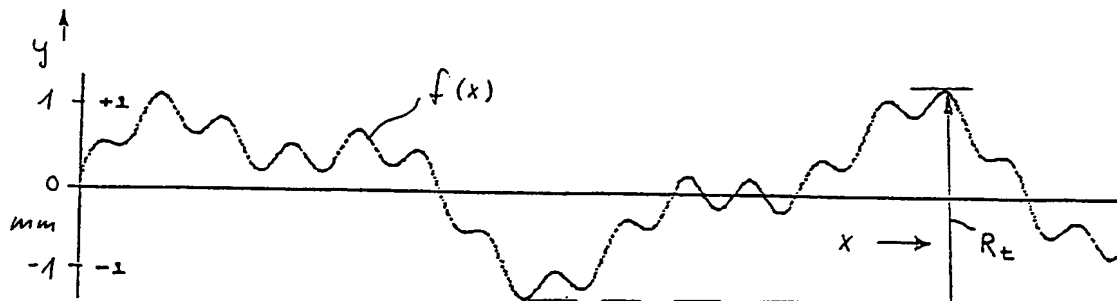


Fig. 6c

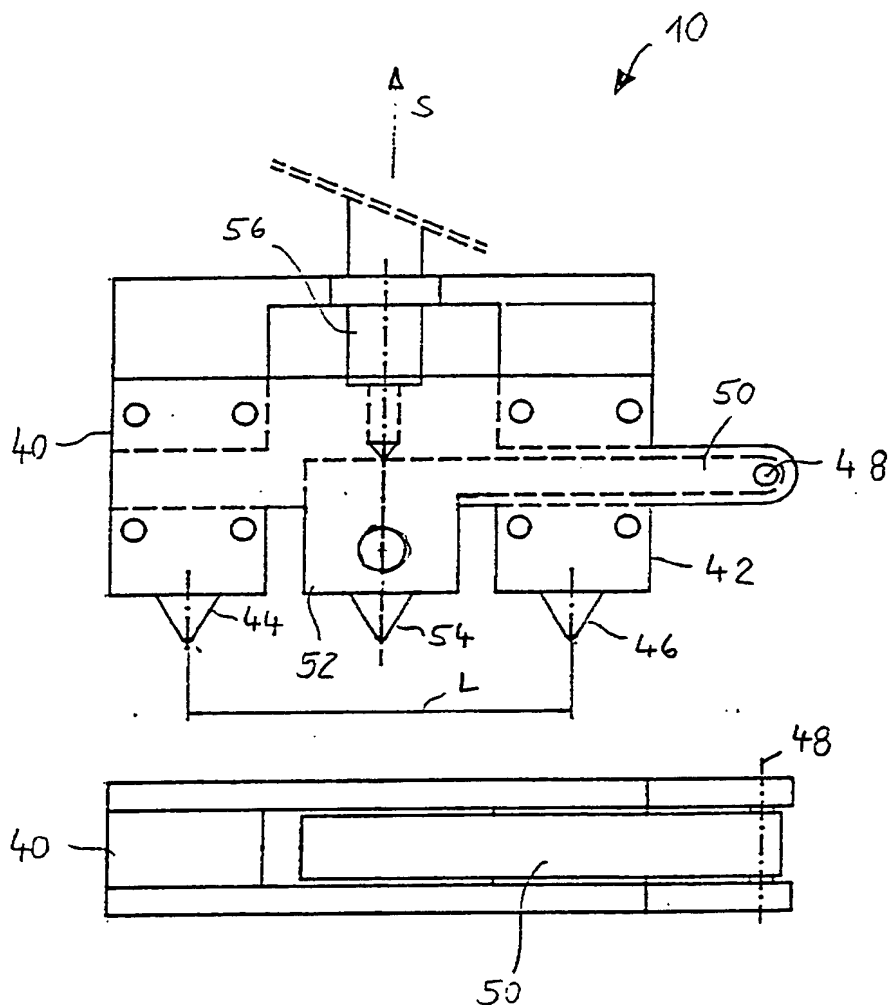
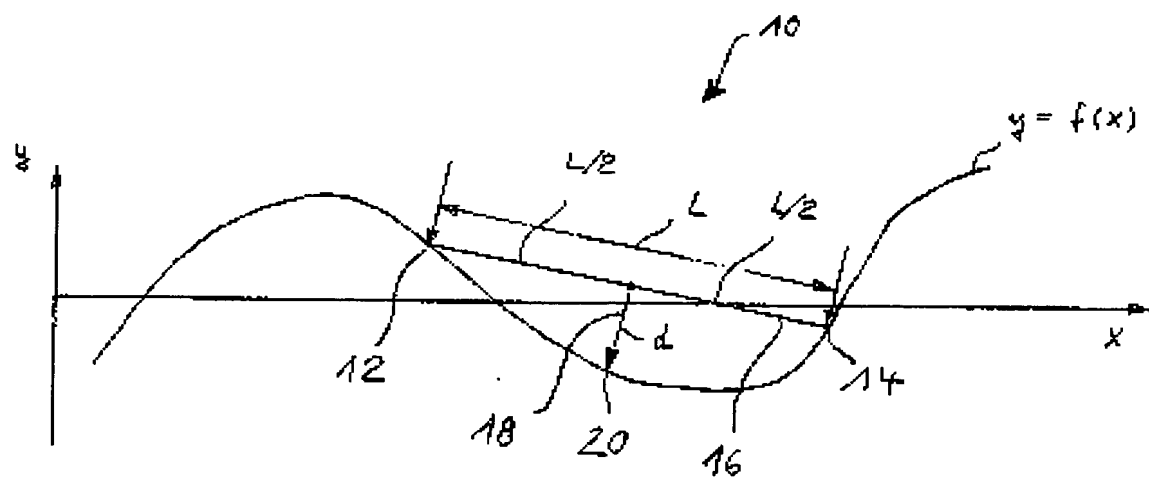


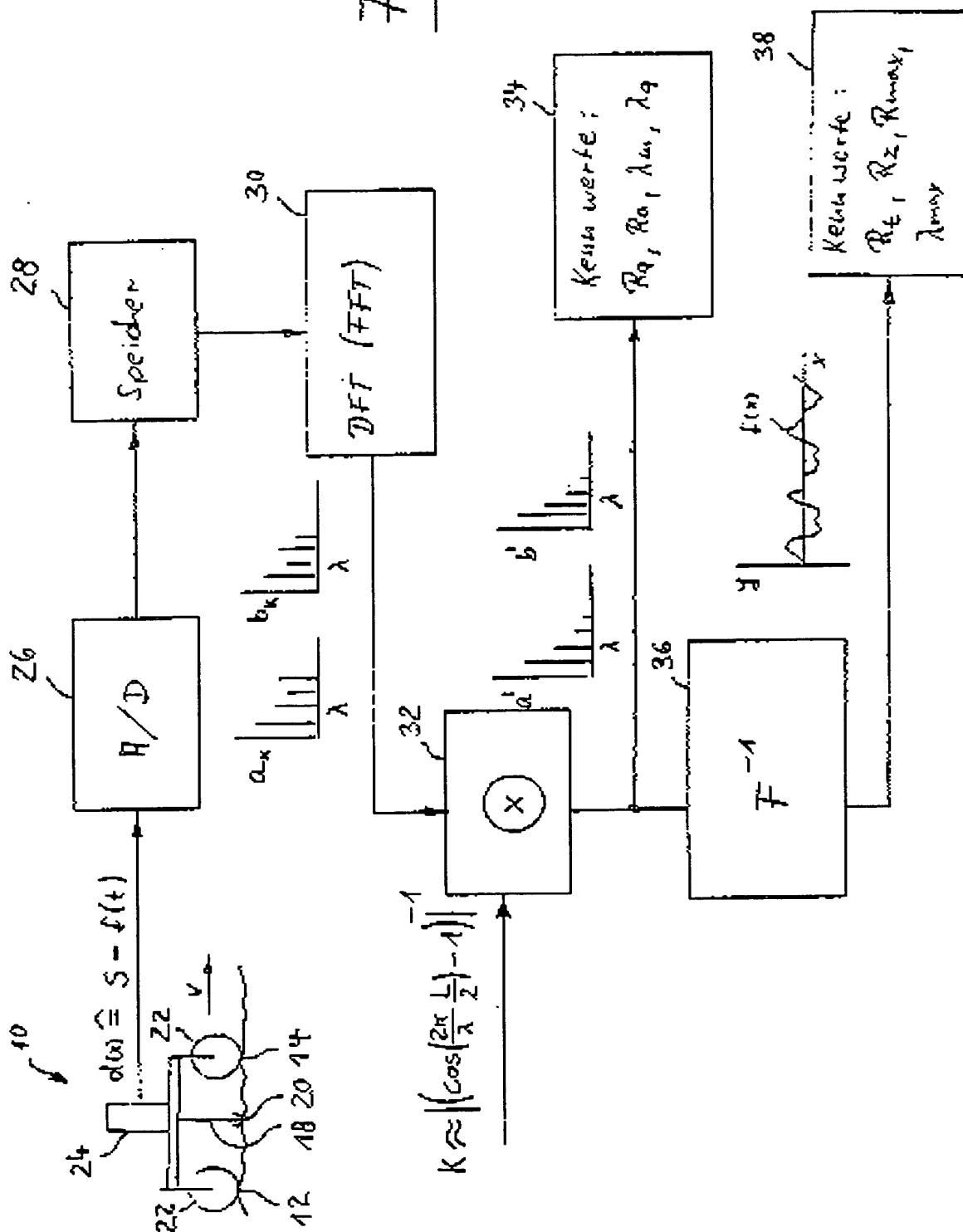
Fig. 7



$$d(x) = \frac{f\left(x + \frac{L}{2}\right) + f\left(x - \frac{L}{2}\right)}{2} - f(x) \quad (1)$$

Fig. 1

Fig. 2



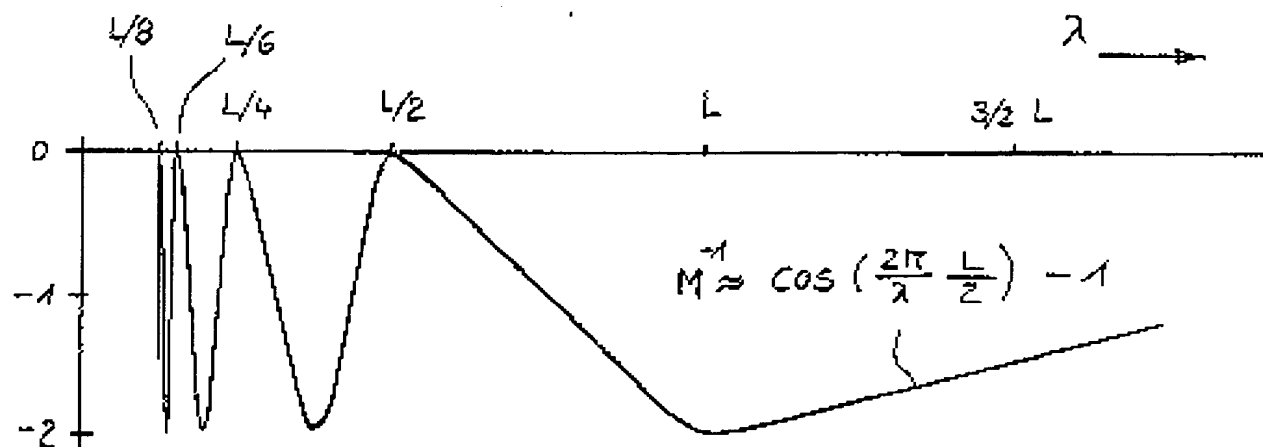


Fig. 3

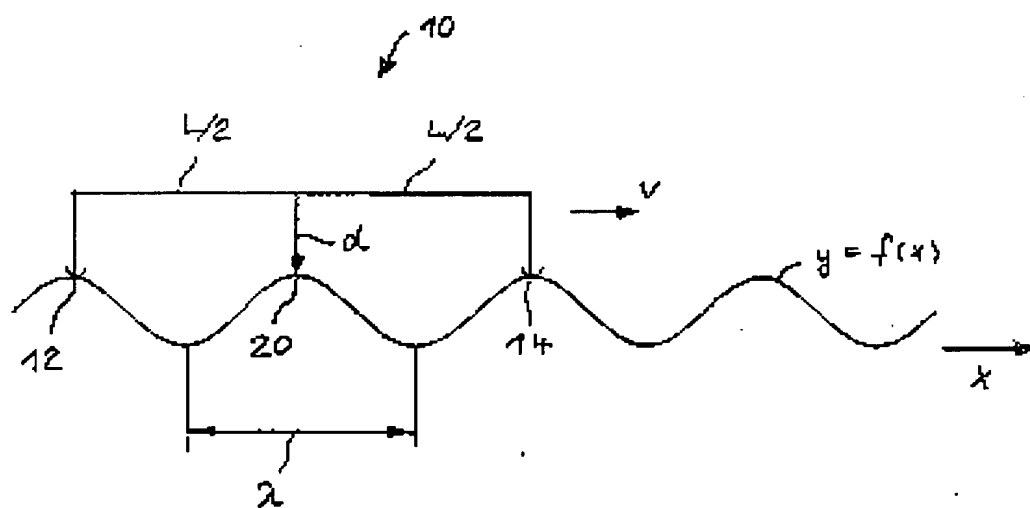


Fig. 4

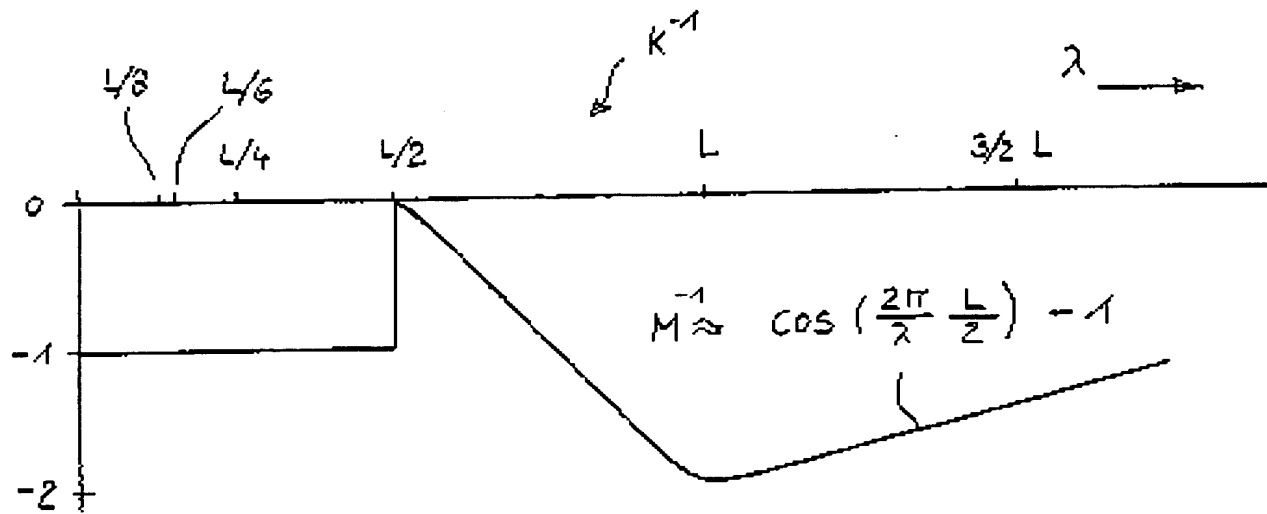


Fig. 5a

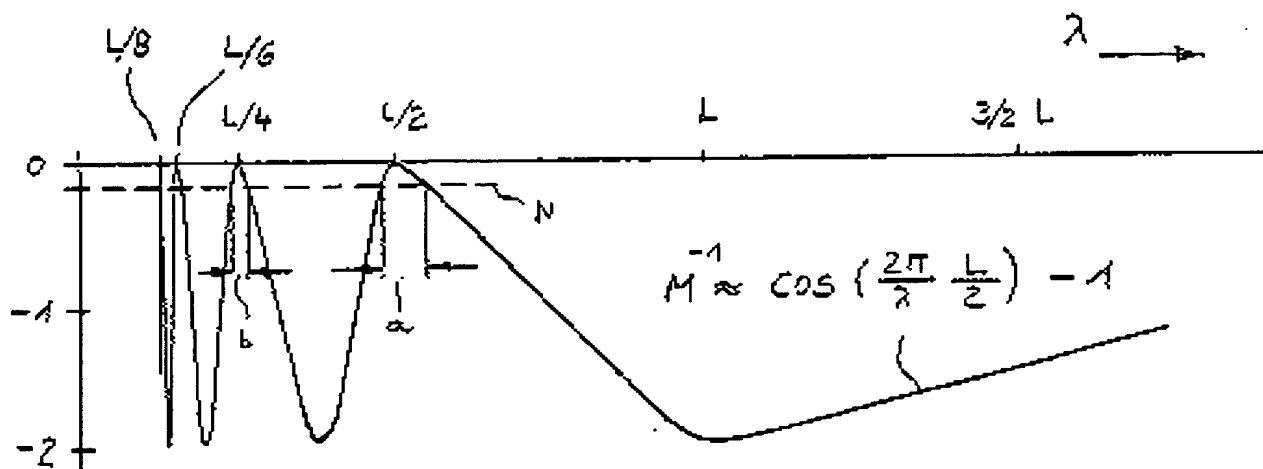
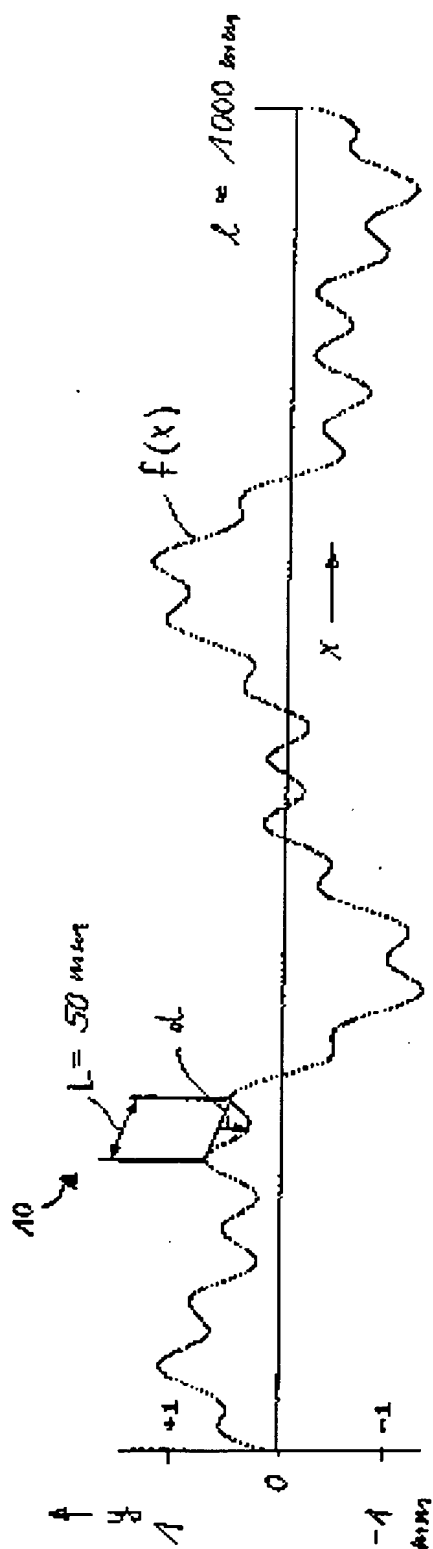


Fig. 5b



$$f(x) = \sum_{i=1}^3 A_i \sin \frac{2\pi}{\lambda_i} x \quad (2)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= 0,8 \text{ mm} & \lambda_1 &= 500 \text{ mm} \\ A_2 &= 0,4 \text{ mm} & \lambda_2 &= 200 \text{ mm} \\ A_3 &= 0,2 \text{ mm} & \lambda_3 &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

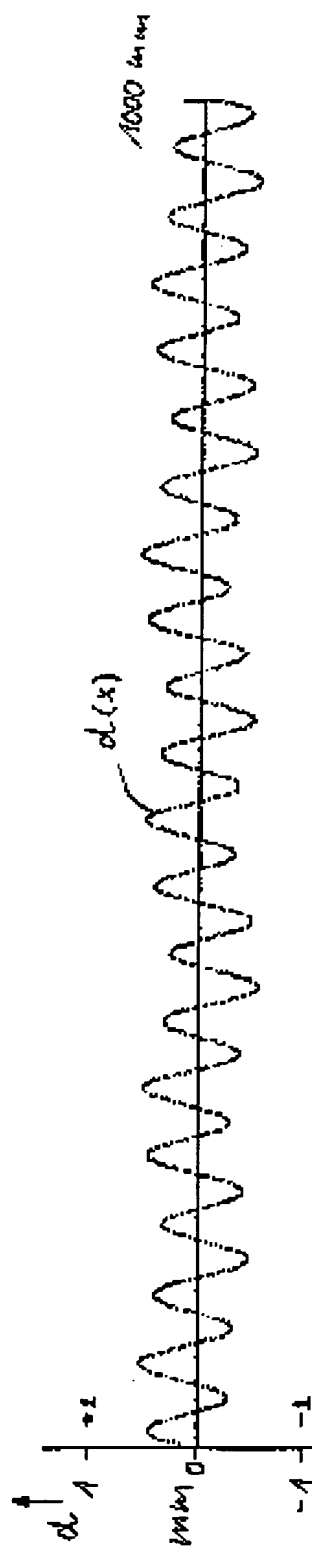


Fig. 6a

$$d(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{2\pi}{l} kx + b_k \sin \frac{2\pi}{l} kx \right) \quad (3)$$

$$a_k = \frac{2}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} d(x) \cos \frac{2\pi}{l} kx dx; \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$b_k = \frac{2}{l} \int_{-\frac{l}{2}}^{\frac{l}{2}} d(x) \sin \frac{2\pi}{l} kx dx; \quad k=1, 2, \dots \quad (5)$$

Die möglichen Werte von k sind:

$$\begin{array}{lll} k=0 & \lambda = \infty & (\text{Gleichanteil}) \\ k=1 & \lambda = 1000 \text{ mm} & \\ k=2 & \lambda = 500 \text{ mm} & \\ \vdots & \vdots & \\ k=k & \lambda = l/k & \\ \vdots & \vdots & \\ k_{\max} = n/2 & & (\text{Abtastgrenze}) \end{array}$$

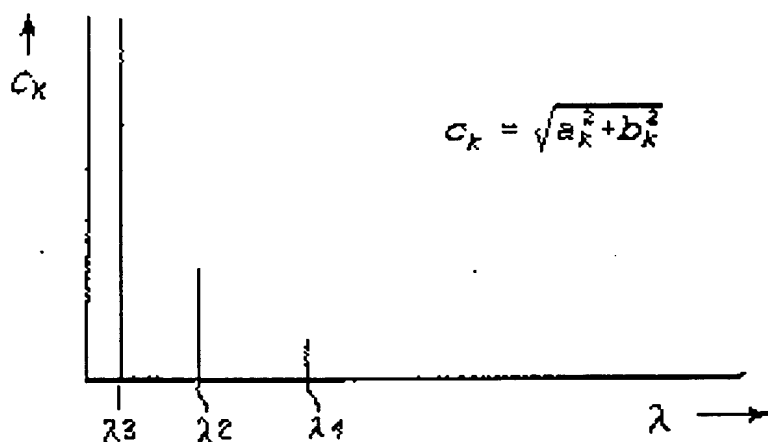
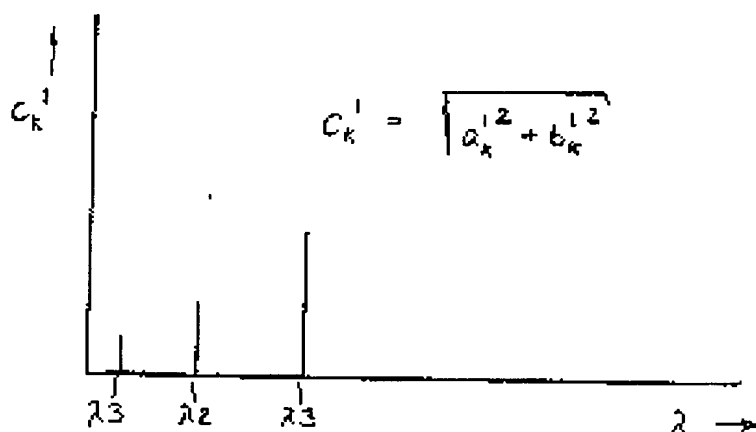


Fig. 6b

$$a_k' = \frac{a_k}{\left| \cos k \frac{L}{2} - 1 \right|}; \quad k=0 \dots k_{\max} \quad (6)$$

$$b_k' = \frac{b_k}{\left| \cos k \frac{L}{2} - 1 \right|}; \quad k=1 \dots k_{\max} \quad (7)$$



$$f(x) = \frac{a_0'}{2} + \sum_{k=1}^{k_{\max}} \left(a_k' \cos \frac{2\pi}{L} kx + b_k' \sin \frac{2\pi}{L} kx \right) \quad (8)$$

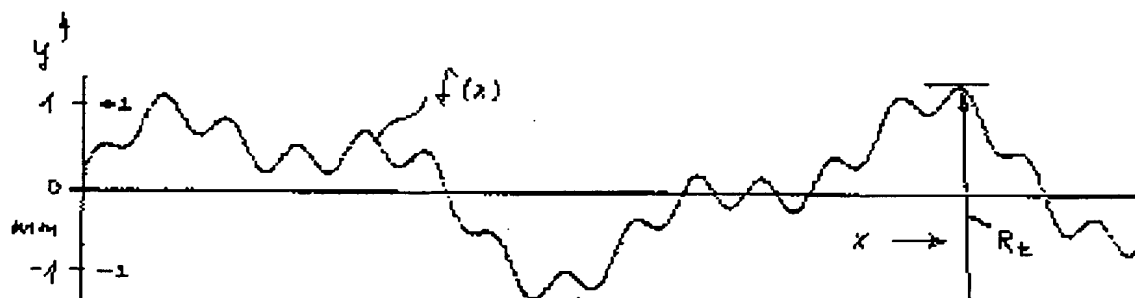


Fig. 6c

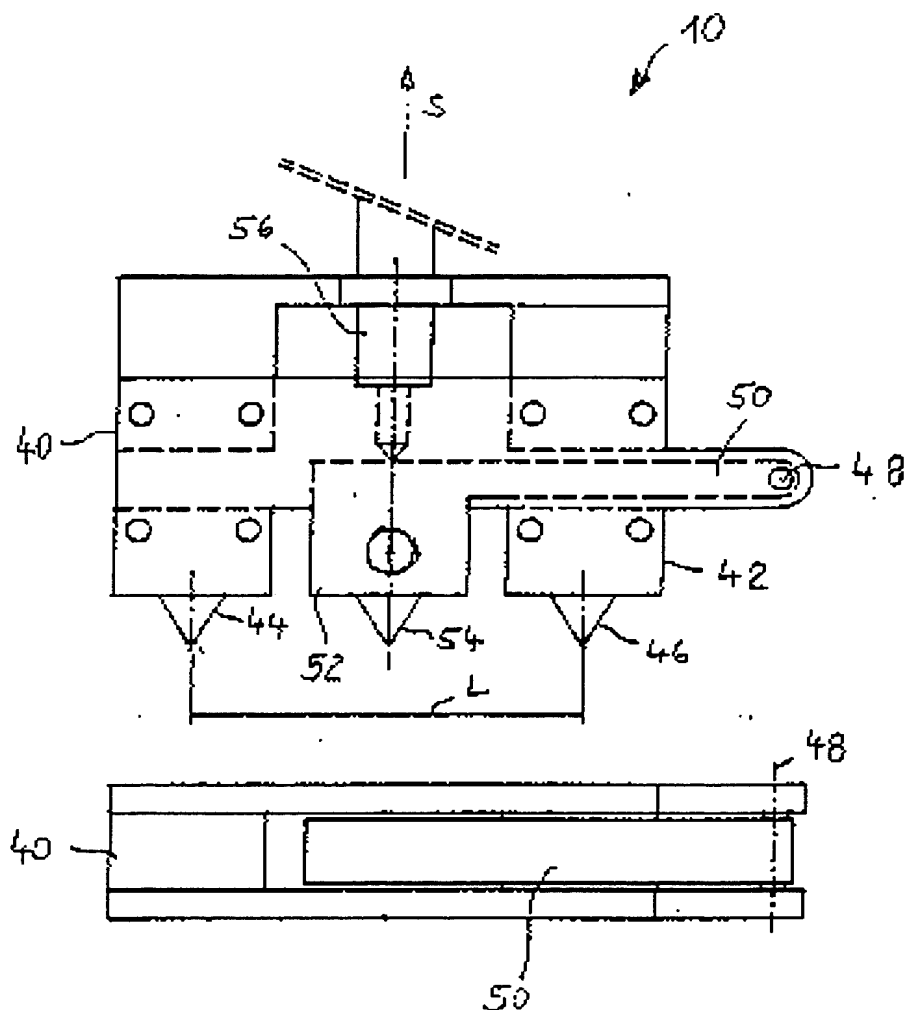


Fig. 7